Energy, Mines and Resources Canada

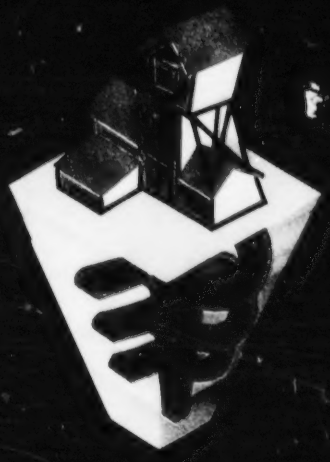
Energie, Mines et Ressources Canada

CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

SP86-3E



86-06648/

1985-1986
ANNUAL REPORT OF THE CANADA-ONTARIO-INDUSTRY ROCKBURST PROJECT

C.H. Brehaut
Chairperson
Management Committee

D.G.F. Hedley
Chairperson
Technical Committee

MICROMEDIA

This document is an unedited interim report prepared [illegible] for discussion and interim reporting purposes. It does not represent a final expression of the opinion of the Canada Centre for Mineral and Energy Technology **(CANMET)**

Ce document est un rapport provisoire non révisé et rédigé [illegible] fin de discussion et de documentation interne. Il ne représente nullement l'expression définitive de l'opinion du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie **(CANMET)**

18 pp

CANMET Special Publication
SP86-3E

© Minister of Supply and Services Canada 1986

Cat. No. M 38-15/86-3E

ISBN 0-662-14984-X

Disponible en français

1985-1986 ANNUAL REPORT OF THE CANADA-ONTARIO-INDUSTRY ROCKBURST PROJECT

Foreword

It is well recognized that effective research can best be carried out when the expertise and resources of the interested parties can be brought together in a cooperative manner. In June, 1985, the Government of Canada and the Government of Ontario, together with members of the mining industry in Ontario, agreed to cooperate in the conduct of a major rockburst research project costing $4.2 million over a five-year period. The Canada-Ontario-Industry Rockburst Project is being directed by a Management Committee with members drawn from the senior ranks of each group, supported by a Technical Advisory Committee consisting of six industrial representatives and one member each from the federal and provincial governments.

The Technical Advisory Committee has been active in formulating and guiding the research program of the Rockburst Project, and the results of their work are well illustrated in the company's annual report for the 1985-1986 fiscal year. The Management Committee believes that the objectives, work plan, and the results of the individual programs should be communicated to all interested parties on a regular basis, with the expectation that the dissemination of such information will serve to further advance the understanding of rockbursts.

C.H. Brehaut
Chairperson
Management Committee

CONTENTS

Foreword	iii
Background	1
Rationale and Objectives	3
Work Plans 1985-1987	5
Element 1: Sudbury Mines	5
Element 2: Elliot Lake Mines	6
Element 3: Red Lake Mines	6
Element 4: Kirkland Lake Mines	7
Element 5: Basic Studies	8
Progress To Date	9
Reports	11
Appendix	13

BACKGROUND

The inclusion of mining research projects as part of a Canada-Ontario Mineral Development Agreement was first raised in early 1984. A meeting to discuss mining research priorities was organized by CANMET in Sudbury on May 9, 1984, and was attended by 14 technical representatives from the northern Ontario mining industry, plus representatives from the Ontario Ministries of Labour and Natural Resources. At this meeting, CANMET identified three priority research areas: rockbursts, in situ mining trials involving backfill, and computer modelling.

Rockburst research would be concerned with installing special seismic-monitoring systems to locate rockbursts accurately, with measuring the seismic energy liberated, with evaluating changes in energy due to mining using computer models, and with in situ monitoring of stress and displacement. In situ mining trials would involve measurements of pillar stress and deformation, closure of stope walls, pressure buildup on backfill, and load-on support systems. Two trials were envisaged using either longitudinal or transverse cut-and-fill and blasthole, with either tailings or rock backfill. Computer-modelling work would be concerned with giving the small and isolated mines wider access to the geomechanical computer programs currently being run on mini- and mainframe computers. These three projects were estimated to cost $2.5 million over five years, with most of the research being contracted out.

The representatives at the Sudbury meeting endorsed the high priority of these projects and also suggested other research projects if additional funding were available. These included:

- blast fragmentation and vibration monitoring;
- borehole orientation and position instrumentation;
- development of rock mechanics instrumentation;
- methods to determine the effectiveness of rock-bolting systems;
- studies on structurally controlled rock falls.

In the following weeks, CANMET personnel visited most of the hardrock mines in Ontario to follow up on this initiative. This process was interrupted by the occurrence of multiple rockbursts at three mines in Ontario.

On June 20, 1984, a series of rockbursts occurred at Falconbridge's No. 5 shaft that resulted in four fatalities and the subsequent closure of the mine. Three weeks later, a series of rockbursts occurred at Inco's Creighton Mine during the summer shutdown. The first rockburst had a magnitude of 4.0 and was felt throughout the Sudbury area. Starting in September, 1984, significant rockburst activity was experienced at Rio Algom's Quirke Mine at Elliot Lake. Over an eight-month period, 120 rockbursts of magnitudes up to 3.5 were recorded by the Eastern Canada Seismic Network.

This level of rockburst activity, in a short time-span and at three separate mines, attracted considerable attention from the public, media, mining industry, unions, and government agencies. International technical review committees were organized by the mining companies to evaluate the mechanisms and causes of rockbursts, as well as to advise on future mining operations in the affected areas at both Falconbridge and Creighton Mines. The Ontario Ministry of Labour appointed an inquiry into ground control and emergency preparedness in Ontario mines. This provincial inquiry held public and private meetings at mining camps throughout Ontario.

In light of these developments, CANMET reorganized its research priorities and wrote a proposal solely on rockburst research*. The emphasis of this research was to improve seismic-monitoring equipment for more accurate source location of events and elimination of spurious events. Wave-form analysis would be used to try to differentiate between rockburst mechanisms, from which the cause of bursting could be established. Much of the initial research would be concentrated in the Sudbury mines, with up-grading of the microseismic systems already installed at the Falconbridge and Creighton Mines. However, research would also be initiated at other mining camps to investigate a common problem of rockburst activity during mining of crown pillars in narrow, steeply-dipping deposits. The estimated cost of this rockburst project was $4.2 million over five years. A major difference from the May 1984 proposal was that the research would be carried out by CANMET personnel rather than being contracted out.

Udd, J.E. "A proposal for a major research project on rockbursts"; Division Report MRP/MRL 84-84(TR); CANMET, Energy, Mines and Resources Canada; 1984.

This rockburst research proposal formed the basis for further discussions with the Ontario Ministries of Natural Resources and Labour, initially within the Mineral Development Agreement, but then as a separate identity to facilitate early implementation. Its place in the Agreement was eventually allocated to mining research involving backfill and, as such, incorporated many of the items of in situ mining trials and geomechanics computer modelling put forward in the May 1984 proposal.

The rockburst project was organized with tripartite funding from the Federal Government, the Ontario Government, and the Ontario mining industry. The Federal Government's contribution through CANMET would be to provide staff to operate the project, training, and maintenance of equipment. The Ontario Government would provide funds for equipment and services, while the mining industry would contribute its existing microseismic-monitoring systems as well as assisting with the installation of new equipment at its mines.

Agreement on the rockburst project was announced in June, 1985, by the Minister of State (Mines), (Hon. R.E.J. Layton), representing Canada, and the Minister of Natural Resources, (Hon. M. Harris), representing Ontario. A Management Committee, appointed to oversee the project, consisted of six members and a chairperson. Two members represented Energy, Mines and Resources Canada, two members represented Ontario, and two members represented the Ontario mining industry; Mr. C.H. Brehaut, President of the Ontario Mining Association, was appointed Chairperson of this Committee.

The main functions of the Management Committee are to:

- review and approve the annual project plans developed by CANMET;
- submit for approval, or ensure the submission for approval, of the annual project plans to the mining companies on whose properties the actual projects will be carried out.

The Management Committee, in turn, appointed a Technical Advisory Committee consisting of six members representing the mining companies where the research will be done (Campbell, Denison, Falconbridge, Inco, Lac Minerals, and Rio Algom), plus a representative from the Ontario Ministry of Labour. Dr. D.G.F. Hedley of CANMET was appointed Chairperson of this Committee.

The main functions of the Technical Committee are to:

- report to the Management Committee, through the Chairperson, on the plans and progress of the research;
- screen technical proposals and recommend their acceptance and application;
- review and recommend on purchases of equipment.

The present membership of both the Management and Technical Committees is listed in the Appendix.

A "Memorandum of Understanding" between Energy, Mines and Resources Canada, the Ontario Ministry of Labour, and the Ontario Ministry of Northern Development and Mines, was signed on September 20, 1985, at which point the research project was initiated. Several months had elapsed since the writing of the first research proposal in December, 1984, so an updated work plan* was prepared by CANMET for the immediate research plans of the project. This document formed the basis of initial discussion of the Technical Committee at its meetings in Elliot Lake on November 15, 1985, and in Copper Cliff on February 25, 1986.

Hedley, D.G.F. and Udd, J.E. "The CANMET/MRL rockburst research project – an updated work plan"; Division Report MRP/MRL 85-106(TR); CANMET, Energy, Mines and Resources Canada; September 1985.

RATIONALE AND OBJECTIVES

Although mining has been carried out for at least a couple of millenia, rockbursts have occurred only over the last century. They are a direct result of improved mining technology, especially in the areas of pumping, hoisting, and ventilation, that allowed the mines to go deeper into an ever-increasing stress environment.

The magnitude of the forces involved and the complexity of rockbursts have made them a very difficult problem to solve. In the early years some practical guidelines were developed, notably by government-appointed committees in South Africa in 1908, 1915, and 1924, as well as by the Ontario Mining Association (Morrison Inquiry) in 1940. These guidelines mainly relied on the traditional engineering approach of observation, experience, reasoning, and trial-and-error methods. Recommendations included avoidance of remnant pillars, systematic sequencing of extraction, and procedures for mining around dykes and faults.

A theoretical understanding of rockbursts was only developed during the 1960's, notably by Cook and Salamon in South Africa. Since rockbursts are a violent release of energy, an energy-balance approach was used. All the energy sources entering the mining system were balanced against how the energy was used or dissipated. Surplus energy would be released seismically as a rockburst. In addition, it was realized that the violent failure of rock was dependent on the stiffness of the loading system. For instance, the violent failure of a brittle rock specimen, in the laboratory, was a result of the stiffness property of the testing machine and not that of the rock.

During the same time, seismic-monitoring systems were being installed in South African and American mines. These systems gave a much better insight into rockburst problems, since to understand the mechanisms involved in a rockburst, it is essential to know the source location accurately.

In Canadian mines, seismic- or microseismic-monitoring systems were first introduced during the early 1980's; at present, 10 such systems are operating in Ontario mines. These systems give source locations of seismic events based on first-wave arrival times and on a relative measure of the seismic energy liberated. As such, they have been extremely useful in establishing trends in seismic activity and from source locations, relative to the mine openings, a mechanism can usually be inferred.

Three types of rockbursts have been identified based on the mechanism involved and the source of the liberated energy. These are as follows:

1. Strain-energy bursts are caused by high stress concentrations at the edge of an opening. The energy liberated is the stored strain energy within the rock.
2. Pillar bursts occur when a pillar suddenly fails, accompanied by rapid closure of the hanging wall and footwall. The energy liberated is part of the change in potential energy of the wall rocks.
3. Fault-slip bursts occur when the shear stress along a fault exceeds the clamping stress. Again, the major source of liberated energy is the change in potential energy. This type of rockburst can occur within the orebody or remote.

Of the 217 recorded rockbursts in Ontario mines during 1984-85 of magnitude 1.5 to 4.0, 5% are classified as strain-energy bursts, 81% as pillar bursts, and 14% as fault-slip bursts.

The present microseismic systems are specifically designed to measure first-wave arrival times using extremely sensitive geophones. Other information, such as direction of first motion and peak particle velocity, is sensed, but not recorded. In addition, the geophones are so sensitive that they saturate at very low magnitudes of seismic events, and the energy values recorded are discrepant.

First motion studies should indicate the mechanism involved in the rockburst. In a fault-slip burst, opposite sides of the fault move in opposite directions, movement that should be picked up by strategically located geophones around the fault. Pillar bursts are an implosion and the first motion is inwards, whereas a blast is an explosion and the first motion is outwards.

Peak particle velocity is a measure of the damage caused by a rockburst similar to that in blasting. It is used to design support systems so that they can withstand certain levels of rockbursting. In South African gold mines, an empirical relationship has been developed between rockburst magnitude, peak particle velocity, and distance. A similar relationship is required for Canadian mines.

A reliable value for the seismic energy liberated in a rockburst is required since it is fundamental in understanding the energy balance. It is also required to check the energy components calculated in computer programs.

Consequently, the first priority in the Rockburst Research Project is to design a seismic-monitoring system that will capture the complete wave-forms and provide information on first motion, peak particle velocity, and seismic energy. Because of the massive amount of seismic data generated, initial research will be concentrated on the larger seismic events of magnitude greater than 1.0, which are the most important. Even here, it is likely that the seismic-monitoring system will saturate for the large rockbursts of magnitude 3.0 and greater. In these cases, it is necessary to rely on the National Seismograph Network. This network is being enlarged by installation of additional seismographs in the Sudbury Basin and at Elliot Lake.

There are two approaches to the alleviation of rockbursts, which can be termed 'strategic' and 'tactical'. The strategic approach is to diminish the possibility of encountering rockburst-prone ground or to diminish the severity of the rockbursts. Techniques include sequencing of extraction to minimize large energy releases; layout of permanent or semi-permanent pillars to reduce volumetric closure and change of potential energy; and the use of backfill to both limit closure and to absorb energy otherwise liberated as seismic energy. The benefits of these techniques are only realized in the long-term.

The tactical approach is to accept that some rockbursting is inevitable, but to seek to limit the extent of the damage. Techniques include design of support systems that yield with the vibrations rather than snap; and destress blasting to soften the rock and control the timing of the change in potential energy. The benefits of these techniques are realized in the short-term.

Prediction of rockbursts is always a long-term objective of rockburst research. However, there are two components to prediction: location and time. At many mines, the present microseismic systems indicate a buildup in seismic activity prior to a major rockburst. Consistent prediction of time has been much more elusive. Some fault-slip rockbursts have occurred without warning of location or time. It is thought that these were caused by a reduction in the clamping stress, and hence a buildup in seismic activity would not be expected.

In summary, the rationale and objectives of the rockburst project are first to develop a new seismic-monitoring system capable of capturing the complete wave-forms for the larger rockbursts. Then using improved source location techniques, first motion studies, peak particle velocities and liberated seismic energy, the causes and mechanisms of rockbursts would be investigated. Finally, these techniques would be utilized in conjunction with in situ measurements and computer models to evaluate both strategic and tactical methods of alleviating rockbursts.

WORK PLANS 1985-1987

The detailed work plans cover the first two years of the project and are split into five elements. The first four elements cover the proposed research in the four mining camps experiencing rockbursts (Sudbury, Elliot Lake, Red Lake, and Kirkland Lake), while the fifth element covers basic studies. In each element, besides the work plan, the expected contributions from CANMET, Ontario, and the mining industry are listed.

Element 1: Sudbury Mines

Objective:

To determine the causes and mechanisms of rockbursts at both Inco and Falconbridge Mines using wave-form analytical techniques, and to evaluate methods of alleviating rockbursts and/or limiting their damaging effects.

Work Plan: (covers the first two years to 1987)

1. Up-grade the microseismic network at Creighton Mine by replacing geophones with accelerometers (Mar./86).
2. Conduct wave-form analysis studies at Falconbridge Mine using a Gould recorder over a three-month period (Dec./86).
3. Enlarge the regional seismic network in the Sudbury Basin from one to three stations (connected to Science North and via telephone to EMR's Seismology Division in Ottawa), to increase the range for recorded rockbursts and to improve the source location of previously unlocated rockbursts (Oct./86).
4. Install two new seismic networks consisting of five units with three-dimensional sensors around Inco's Creighton Mine and Falconbridge's Strathcona Mine. These units will be installed both underground and on surface, about 1 km from active rockburst areas, and will be designed to record rockbursts above a magnitude of 1.0. Complete wave-forms of these larger seismic events will be stored on processing units at the mine sites and transferred over phone lines to CANMET's Elliot Lake Laboratory. Analysis of P-S wave arrivals for source locations, for first motion studies, for seismic energy, and for peak particle velocity will be done on the computers at Elliot Lake (first installation Oct./86, second installation 1987).
5. Calibrate new seismic networks, probably using isolated production blasts (Oct./86,1987).
6. Continue monitoring activity at Strathcona and Creighton Mines, using both the existing mine microseismic systems and the new seismic systems.
7. Evaluate the monitoring capabilities of the regional seismograph network covering the Sudbury Basin, the new seismic networks at the two mines, and the mine microseismic systems (1987).

Reports:

1. Design of a new intermediate seismic network (June/1986);
2. Layout and calibration of the new seismic networks at Strathcona and Creighton Mines (Dec./86,~1987);
3. Wave-form studies at the Falconbridge Mine (Mar./87);
4. Evaluation of regional and intermediate seismic systems and mine microseismic system (~1987);
5. Preliminary evaluation of wave-form studies at Strathcona or Creighton Mines (~1987).

Contributions From CANMET:

1. 3 full-time positions for five years;
2. $15 000/year data transmission costs to Ottawa and Elliot Lake;
3. Writing of technical reports.

Contributions From Ontario:

1. Upgrading of Creighton microseismic systems, (estimate $37 000), actual $44 000 (1985/86);
2. Wave-form equipment at Falconbridge Mine, (estimate $47 000), actual $42 000 (1985/86);
3. Enlarged regional seismic network, Sudbury Basin, (estimate $79 000), actual $55 000 (1985/86);
4. First new seismic network at a Sudbury mine, $140 000 estimate (1986/87);
5. Second new seismic network at a Sudbury mine, $140 000 estimate (1987/88).

Contributions From Industry:

1. Existing microseismic networks at Falconbridge, Strathcona, and Creighton Mines;
2. Day-to-day operation of these networks and provision of seismic data to CANMET;
3. Installation (drilling boreholes, installing sensors, laying cable) for the Gould system at Falconbridge Mine and the new seismic networks at Strathcona and Creighton Mines.

Element 2: Elliot Lake Mines

Objective:

To establish whether the hanging wall is caving above the rockburst area at Quirke Mine, to monitor the spread of seismic activity at both Quirke and Denison mines, and to establish a relationship between energy values from the mine microseismic system and a seismograph at CANMET's Elliot Lake Laboratory.

Work Plan: (covers the first two years to 1987)

1. Install a seismograph unit at CANMET's Elliot Lake Laboratory (Nov./85).
2. Re-drill existing surface exploration holes above the rockburst area at Quirke Mine to determine if the hanging wall is caving and at what depth (Mar./86).
3. Install geophones in these surface boreholes about 150 m above the orebody to improve vertical resolution of seismic events (May/86).
4. Calibrate the complete microseismic system using small blasts (May/86).
5. Continue monitoring seismic activity at Quirke and Denison mines.
6. Evaluate energy values from microseismic and seismograph units (Mar./87).

Reports:

1. Evaluation of hanging wall conditions and calibration of microseismic network (July/86);
2. Microseismic/seismograph energy relationship (Mar./87).

Contributions From CANMET:

1. Manpower covered by existing personnel;
2. Writing of technical reports.

Contributions From Ontario:

1. Diamond drilling of surface boreholes, (estimate $20 000), actual $22 000 (1985/86);
2. Back-up power and radio for seismograph, (estimate $3 000), actual $2 000 (1985/86);
3. Second seismograph unit, $6 000 (1986/87).

Contributions From Industry:

1. Seismograph unit (donated by Denison);
2. Existing microseismic network covering Quirke and Denison Mines;
3. Day-to-day operation of this network and provision of seismic data to CANMET;
4. Installation of geophones in surface boreholes (Rio Algom);
5. Calibration blasts (Rio Algom and Denison).

Element 3: Red Lake Mines

Objective:

To develop techniques that alleviate the rockburst problem and allow safe and efficient recovery of crown pillars in narrow, steeply dipping orebodies mined using cemented tailings.

Work Plan: (covers the first two years to 1987)

1. Installation of fill pressure cells and closure meters in backfilled stopes in both narrow (2 m) and wide (15 m) orebodies with varying tailing/cement ratio, to determine in situ fill stiffness, support pressure, and energy absorbed in the fill (starting Jan./86 and continuing with each fill pour).
2. Monitoring of seismic activity with complete wave-form analysis (Gould system), change in stress, wall closure, and backfill pressures in association with a crown pillar destressing blast (Jan./86), as well as other large blasts.
3. Measurements of stress in boxhole and sill pillars (1986 and 1987).
4. Computer modelling, with post-failure rock properties, of existing mining layouts for calibration purposes and then of alternative mining layouts, including destressing blasts (1986 and 1987).

Reports:

1. Results of destressing blast (June/86);
2. Pillar stresses (Dec./86);
3. Calibration of computer models (Dec./86);
4. Preliminary report on measurements of fill stiffness, support pressures, and energy absorbed (Mar./87).

Contributions From CANMET:

1. 1 full-time position for five years;
2. Stress measurements in pillars;
3. Writing of technical reports.

Contributions From Ontario:

1. Fill pressure cells and closure meters, (estimate $8 000), actual $8 000 (1985/86);
2. Portable computers (for use at all mine sites), (estimate $5 000), actual $13 000 (1985/86);
3. Fill pressure cells, stressmeter cells, and closure meters, $15 000 (1986/87);
4. Computer modelling on outside computers, $20 000 (1986/87).

Contributions From Industry:

1. Existing microseismic network at Campbell Mine;
2. Day-to-day operation of this network and provision of seismic data to CANMET;
3. Installation of instrumentation;
4. Diamond drilling for stress measurements.

Element 4: Kirkland Lake Mines

Objective:

To develop techniques that alleviate the rockburst problem and allow safe and efficient recovery of crown pillars in narrow, steeply dipping orebodies mined using rock fill.

Work Plan: (covers the first two years to 1987)

1. Installation of a combined conventional/research microseismic network at Macassa Mine. The conventional system would consist of a 16-channel accelerometer network with processing unit similar to the other systems installed in Ontario mines. The research system would consist of three-dimensional sensors with the ability to capture complete wave-forms that would also feed into the same processing unit (1987).
2. Monitoring of destress blast and the resultant seismic activity using the portable wave-form recorder (June/86), as well as other large blasts.
3. Review of previous rockburst activity at the Macassa Mine, with particular reference to rock types and structure (Sept./86).

Reports:

1. Review of rockburst activity at the Macassa Mine (Sept./86);
2. Results of destress blast (Oct./86).

Contributions From CANMET:

1. 1/2 full-time position for four years;
2. Design of sensor layout for microseismic system;
3. Writing of technical reports.

Contributions From Ontario:

1. Research part of microseismic system, $60 000 est. (1986/87/88).

Contributions From Industry:

1. Conventional part of microseismic system (Lac Minerals);
2. Installation of microseismic system (drilling, installing sensors, laying cable) (Lac Minerals);
3. Day-to-day operation of this network and provision of seismic data to CANMET;
4. Installation of instrumentation and 'master' NFOLD model for additional computer runs.

Element 5: Basic Studies

Objective:

To provide an overview of rockburst activity in Ontario mines; to be aware of rockburst research in other organizations and other countries; and to conduct fundamental research on methods of source location, measurement of seismic energy, and mechanisms of rockbursts.

Work Plan:

1. Annual review of rockburst incidents in Ontario mines (July each year).
2. Comparison of source location techniques using blast calibration data, and standardization on one completely automated technique (Dec./86).
3. Acquisition/development of software for wave-form analysis covering first motion studies, seismic energy liberated, and peak particle velocity (Dec./86).
4. Review of the factors affecting the energy values on the present microseismic system and definition of specifications for an improved energy measurement (Mar./87).

Reports:

1. Rockbursts in Ontario Mines in 1984 (Dec./85);
2. Rockbursts in Ontario Mines in 1985-86 (July/86, 1987);
3. Standardized source location method (Dec./86);
4. Review of energy factors and specifications (Mar./87).

Contributions From CANMET:

1. Manpower covered by existing personnel;
2. Writing of technical reports.

Contributions From Ontario:

None required.

Contributions From Industry:

1. Information on rockbursts for annual review;
2. Blast calibration data.

PROGRESS TO DATE

The rockburst project started on September 20, 1985, and this review covers to March 31, 1986, which is the end of the first fiscal year.

As part of CANMET's contribution, four additional persons were hired to operate the project. Also, a seismologist on a post-doctorate fellowship joined the Elliot Lake Laboratory. Visits were made to the Seismology Division of Energy, Mines and Resources Canada, the University of Saskatchewan, the Coeur d'Alene area of Idaho, the United States Bureau of Mines in Denver, and the Sandia Laboratories in Albuquerque, New Mexico, as well as visits to Ontario mines to establish the present state of the art in microseismic/seismic technology.

Ontario contributed $186 000 for capital equipment and services in 1985/86. These funds were used for diamond drilling at Elliot Lake; seismograph stations in Sudbury and Elliot Lake; semi-portable wave-form analysis equipment; accelerometers to up-grade the Creighton microseismic system; convergence meters and pressure cells for backfill studies at Campbell; and computer and electronic equipment for the Elliot Lake Laboratory.

The Technical Advisory Committee met on two occasions: in November 1985 at Elliot Lake, and in February, 1986, at Copper Cliff. In addition, visits and discussions were held with individual mines. All mining companies provided information on rockburst activity at their mines in 1985 for the annual review.

The diamond drilling at Quirke Mine was to establish whether the hanging wall was caving above the rockburst area. Even before drilling started it was known that the water pumped from the mine had increased by about 50% in 1985, and the level of a beaver pond on the surface had dropped by about 4 m. Hence, there is a connection between surface and underground, although it is not known whether this is by general fracturing or along prominent structures. Significant problems were encountered in re-drilling an existing surface exploration borehole. Complete water-loss occurred at a number of horizons. At a depth of 125 m, the original borehole had an offset of 50 mm at the contact of the limestone-conglomerate beds. An offset of 25 mm was also encountered at a depth of 145 m in the middle of the quartzite beds. At a depth of 165 m, the drill rods snapped twice due to fractured ground and the hole was abandoned, some 230 m above the orebody. Although the height of caving could not be established, general fracturing of the rock mass was encountered. Dye is being placed in both the borehole and the beaver pond in an attempt to find out on which level the water enters the mine. A report is in preparation.

A seismograph station was installed at the Elliot Lake Laboratory in November, 1985. This unit has recorded seismic activity in the local mines (Quirke, Denison, and Stanleigh) as well as rockbursts with a magnitude greater than 2.0 in the Sudbury mines (Strathcona, Creighton, and Copper Cliff North) and magnitudes over 3.0 at Kerr Addison Mine. The amplitude of the signals on the seismograph will be compared to the energy values from the microseismic unit at Quirke Mine to see if there is any correlation.

The seismograph stations and associated equipment for the Sudbury Basin are being assembled; they are due for installation and hookup to Science North in October, 1986.

A destress blast was monitored at Campbell Red Lake Mine in January, 1986. Instrumentation included the Electrolab microseismic system, wave-form recorder (Gould unit), blast vibration monitors (Instantel units), convergence meters, and stressmeters (IRAD gauges). Both finite element and NFOLD computer models were run to estimate the change in stress and displacement as a result of the destress blast. Initial results indicate the change in stress and displacement is small (70 kPa and 2 mm) due to the blast. Wave-form analysis gave consistent values for P and S wave velocities, which were slightly higher than those recorded by the Electrolab microseismic system. The geophones in the system were saturated by the destress blast (300 kg instantaneous) over a distance of at least 500 m. A report is in preparation.

The wave-form recorder was attached to the existing microseismic network at Falconbridge's No. 5 shaft in late March, 1986. Although the mine is closed (due to the rockbursts in June 1984), minor seismic activity continues. This provides the opportunity to capture wave-forms from fault-slip mechanisms.

Design of the new intermediate seismic system is almost complete. Strong-motion, three-dimensional sensors will be installed about 500 to 1000 m from active mining areas. Seismic signals will be transmitted to a central computer at the mine. A modem link will allow transfer of this data to the Elliot Lake Laboratory on a daily basis. Analysis of the wave-forms will be done at Elliot Lake.

REPORTS

Only one report was scheduled for this period, as follows:
Hedley, D.G.F. and Wetmiller, R.J.; "Rockbursts in Ontario mines during 1984"; *Special Report* SP85-5; Energy, Mines and Resources Canada; July 1985.

Abstract

During 1984, more than 100 rockbursts occurred in seven mines in Ontario, a significant increase over previous years. An unusual feature was the multiple rockburst sequence that occurred in four mines over periods ranging from a few hours to months.

These rockbursts were recorded on the regional seismograph networks and, in most cases, on the microseismic systems installed in the mines. It was possible to match magnitude values from the regional network to accurate source location from the mine networks, which greatly assisted in evaluating mechanisms, causes, and spread of rockburst activity.

Most rockburst activity occurred in pillars in thin tabular orebodies, either gently dipping as at Elliot Lake, or steeply dipping as at Red Lake and Kirkland Lake. Some rockbursts in the Sudbury mines have been attributed to a fault-slip mechanism.

Other Relevant Reports

Dampier, W.T. & Associates Limited. *Improving Ground Stability and Mine Rescue; Report of the Provincial Inquiry into Ground Control and Emergency Preparedness in Ontario Mines*, ISBN: 0-7729-1064-2; 1986.

Hedley, D.G.F. and Udd, J.E. "The CANMET/MRL rockburst research project – an updated work plan"; *Division Report* MRP/MRL 85-106(TR); CANMET, Energy, Mines and Resources Canada; September 1985.

Udd, J.E. "A proposal for a major research project on rockbursts"; *Division Report* MRP/MRL 84-84(TR); CANMET, Energy, Mines and Resources Canada; 1984.

APPENDIX

Rockburst Project Management Committee

C.H. Brehaut – Dome Mines Ltd., Chairperson
C. Barsotti – Inco Ltd.
M. Musson – Falconbridge Ltd.
B. Goodman – Ontario Ministry of Labour
V. Milne – Ontario Ministry of Northern Development and Mines
K. Whitham – Energy, Mines and Resources Canada
J.E. Udd – Energy, Mines and Resources Canada

Rockburst Project Technical Committee

D.G.F. Hedley – Energy, Mines and Resources Canada, Chairperson
D. Ames – Ontario Ministry of Labour
P. MacDonald – Inco Ltd.
D. Morrison – Falconbridge Ltd.
S.N. Muppalaneni – Rio Algom Ltd.
M. Neumann – Campbell Red Lake Mines Ltd.
W. Quesnel – Lac Minerals Ltd.
A. Sheikh – Denison Mines Ltd.

Energie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada

CANMET

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie
Canada Centre for Mineral and Energy Technology

SP86-3F

RAPPORT ANNUEL 1985-1986 DU PROJET DE RECHERCHE CONJOINT CANADA-ONTARIO-INDUSTRIE SUR LES COUPS DE TOIT

C.H. Brehaut
Président
Comité de gestion

D.G.F. Hedley
Président
Comité technique

MICROMEDIA

This document is an unedited internal report prepared primarily for discussion and review purposes. It may not represent a final Canadian position or the opinion of the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET)

Ce document est un rapport provisoire non-révisé et rédigé principalement pour un de discussion. Il peut ne pas représenter une position canadienne finale ou refléter l'opinion du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET)

18 pp

Rapport spécial du CANMET
SP86-3F

Colophon No. 7 (file c)

Job No. 96642

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986

Nº de cat. M 38-15/86-3F

ISBN 0-662-93942-5

Available in English

RAPPORT ANNUEL 1985-1986 DU PROJET DE RECHERCHE CONJOINT CANADA-ONTARIO-INDUSTRIE SUR LES COUPS DE TOIT

AVANT-PROPOS

Il est depuis longtemps reconnu que la recherche donne de meilleurs résultats quand les parties intéressées mettent en commun leur savoir-faire et leurs ressources. En juin 1985, le gouvernement du Canada et celui de l'Ontario, conjointement avec certains membres de l'industrie minière de cette province, ont conclu une entente concernant la réalisation, sur une période de cinq ans, d'un important projet de recherche sur les coups de toit, d'une valeur de 4,2 millions de dollars. Le projet de recherche conjoint Canada-Ontario-Industrie est géré par un comité de gestion composé de hauts fonctionnaires de chacun des groupes. Le comité reçoit l'appui d'un comité consultatif technique qui comprend six représentants de l'industrie et un membre des gouvernements fédéral et provincial, respectivement.

Le comité consultatif technique a joué un rôle dans la formulation et l'orientation du projet de recherche sur les coups de toit et les résultats de son travail sont bien évidents dans le rapport annuel de la société pour l'année financière 1985-1986. Le Comité de gestion est d'avis que les objectifs, plans de travail et résultats des programmes particuliers doivent être communiqués régulièrement à toutes les parties intéressées afin que la diffusion de cette information contribue à promouvoir la recherche et à accroître les connaissances en ce qui a trait aux coups de toit.

C.H. Brehaut
Président
Comité de gestion

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	iii
Historique	1
Bien-fondé et objectifs	3
Plans de travail 1985-1987	5
Élément 1: Les mines de Sudbury	5
Élément 2: Les mines d'Elliot Lake	6
Élément 3: Les mines de Red Lake	7
Élément 4: Les mines de Kirkland Lake	8
Élément 5: Études de base	8
Progrès réalisés à ce jour	10
Rapports	12
Annexe	13

HISTORIQUE

C'est au début de 1984 que la possibilité d'inclure des projets de recherche sur les mines dans l'Entente sur l'Exploitation minérale Canada Ontario fut d'abord soulevée. Une réunion portant sur les priorités de recherche minière fut organisée par CANMET à Sudbury, le 9 mai 1984, à laquelle assistèrent 14 représentants techniques de l'ensemble de l'industrie minière du Nord de l'Ontario ainsi que des représentants des ministères ontariens du Travail et des Ressources naturelles. Lors de cette réunion, CANMET identifia trois zones de recherche prioritaires: les coups de toit, les essais miniers sur place entraînant du remblayage, et la modélisation par ordinateur.

La recherche sur les coups de toit comporterait l'installation des systèmes spéciaux de monitorage sismique permettant de localiser avec précision les coups de toit, de mesurer l'énergie sismique libérée, d'évaluer les changements d'énergie découlant de l'utilisation de modèles informatiques dans l'exploitation minière, et le monitorage sur place de la contrainte et du déplacement. Les essais miniers sur place porteraient sur les mesures de contrainte et de déformation des piliers, de convergence des murs d'excavation minière, de l'accumulation de pression sur le remblai et de la charge imposée aux systèmes de soutien. Deux essais furent envisagés en utilisant le tir par chambre remblayée, soit longitudinale ou transversale, et le tir par trou de mine avec terrils ou remblais de rochers. Le travail de modélisation par ordinateur viserait à donner aux mines petites et isolées un accès plus large aux logiciels géomécaniques présentement utilisés sur les miniordinateurs et les ordinateurs à grande puissance. Le coût de ces trois projets fut évaluée à 2,5 millions de dollars sur une période de 5 ans, la plus grande partie de la recherche étant donnée en sous-traitance.

Les représentants présents à la réunion de Sudbury endossèrent ces projets en leur accordant une priorité élevée, et suggérèrent également d'autres projets de recherche si des fonds supplémentaires pouvaient être obtenus. Parmi ceux-ci, mentionnons:

- le monitorage de la fragmentation et de la vibration du coup de mine;
- l'instrumentation de l'orientation et de la position du trou de mine;
- l'élaboration de l'instrumentation de la mécanique des roches;
- la recherche de méthodes visant à déterminer l'efficacité des systèmes de boulons d'ancrage;
- des études portant sur les chutes des roches structurellement contrôlées.

Au cours des semaines qui suivirent, le personnel de CANMET visita la plupart des mines de roche dure de l'Ontario afin d'identifier des emplacements potentiels pour les études de coups de toit et les essais miniers sur place. Ce processus fut interrompu par l'occurrence de nombreux coups de toit dans trois mines ontariennes.

Le 20 juin 1984, une série de coups de toit se produisit au puits numéro 5 de Falconbridge, provoquant la mort de quatre personnes et entraînant la fermeture de la mine. Trois semaines plus tard, une série de coups de toit se produisit à la mine Creighton de l'INCO, durant la fermeture estivale. Le premier coup de toit avait une magnitude de 4,0 et fut ressenti dans toute la région de Sudbury. À compter de septembre 1984, on nota de nombreux coups de toit à la mine Quirke de la Rio Algom à Elliot Lake. Au cours d'une période de 8 mois, 120 coups de toit d'une magnitude allant jusqu'à 3,5 furent enregistrés par le Réseau sismique de l'Est du Canada.

La fréquence de ces coups de toit, en un court laps de temps et dans trois mines distinctes, attira une attention considérable de la part du public, des médias, de l'industrie minière, des syndicats et des agences gouvernementales. Des comités internationaux d'examen technique furent mis sur pied par les compagnies minières afin d'évaluer les mécanismes et les causes des coups de toit et prodiguer des conseils sur les futures opérations minières dans les zones affectées, aux mines de Falconbridge et de Creighton. Le gouvernement ontarien créa une commission d'enquête sur le contrôle du sol et de l'état d'alerte préventive en cas d'urgence dans les mines ontariennes. Cette enquête provinciale tint des réunions publiques et privées dans les chantiers miniers dans toute la province.

À la lumière de ces événements, CANMET réévalua ses priorités de recherche et rédigea une proposition consacrée exclusivement à la recherche sur les coups de toit*. Le but de cette recherche était d'améliorer l'équipement de monitorage sismique afin de localiser plus précisément la source des événements et éliminer les faux événements. L'analyse des formes d'ondes serait utilisée afin de tenter de déterminer les mécanismes de coups de toit à partir desquels on pourrait établir la cause du coup. Une grande partie de la recherche initiale serait concentrée dans les mines de Sudbury, les systèmes microsismiques déjà en place aux mines de Falconbridge et de Creighton ayant déjà été modernisés. Cependant, on entreprendrait également de la recherche dans d'autres exploitations minières afin d'étudier un problème courant d'activité de coup de toit au cours de l'abattage de stots dans des gisements étroits et en pente abrupte. On a évalué le coût de ce projet sur les coups de toit à 4,2 millions $ sur une période de 5 ans. La principale différence de ce projet, par rapport à la proposition de mai 1984, était que la recherche serait effectuée par le personnel de CANMET plutôt que d'être donnée en sous-traitance.

Cette proposition de recherche sur les coups de toit a servi de point de départ aux nouveaux pourparlers avec le ministère des Ressources naturelles de l'Ontario, d'abord dans le cadre de l'Entente sur le Développement minéral, puis en tant que projet distinct afin d'en hâter la mise en application. Elle fut finalement inscrite dans l'Entente, au chapitre de la recherche minière entraînant du remblayage et, en tant que telle, elle engloba un bon nombre d'articles relatifs aux essais miniers sur place et à la modélisation géomécanique par ordinateur qui faisaient partie de la proposition de mai 1984.

Le projet de recherche sur les coups de toit s'appuyait maintenant sur un financement tripartite du gouvernement fédéral, du gouvernement ontarien, et de l'industrie minière ontarienne. L'apport du gouvernement fédéral consisterait à fournir, par le truchement de CANMET, le personnel nécessaire au fonctionnement du projet, à la formation et à l'entretien de l'équipement. Le gouvernement ontarien verserait des fonds pour l'équipement et les services, et l'industrie minière fournirait ses systèmes de monitorage microsismique et aiderait à l'installation de nouvel équipement dans les mines.

L'accord sur le Projet de recherche sur les coups de toit fut annoncé en juin 1985 par le ministre d'État aux Mines (l'honorable R.E.J. Layton) représentant le Canada, et le ministre des Ressources naturelles (l'honorable M. Harris) représentant l'Ontario. Un comité de gestion, comptant deux membres représentant Énergie, Mines et Ressources, deux membres représentant l'Ontario, deux membres représentant l'industrie minière ontarienne et présidé par M. C.H. Brehaut, président de Dome Mines Ltd., fut chargé de superviser le projet. La principale fonction de ce comité de gestion consiste à:

- réviser et approuver les plans annuels de projets élaborés par CANMET, et à
- soumettre pour approbation (ou assurer la soumission pour approbation) les plans annuels de projets aux compagnies minières sur les propriétés desquelles les projets eux-mêmes seront menés.

Le comité de gestion a lui même mis en place un comité consultatif technique composé de six membres représentant les compagnies minières où s'effectuera la recherche (Campbell, Denison, Falconbridge, INCO, Lac Minerals et Rio Algom), ainsi que d'un représentant du ministère du Travail de l'Ontario. M. D.G.F. Hedley de CANMET fut nommé à la présidence de ce comité. Les principales fonctions du comité techniques sont les suivantes:

- rendre compte au comité de gestion, par l'entremise de son président, des plans et de l'état d'avancement de la recherche;
- étudier les propositions techniques et recommander leur approbation et leur application;
- étudier les demandes d'achat d'équipement et se prononcer sur leur bien-fondé.

La liste des membres actuels du comité de gestion et du comité technique apparaît à l'Annexe A.

**Udd, J. E., "A proposal for a Major Research Project on Rockbursts" [Proposition de projet de recherche majeur sur les coups de toit], Rapport de division MRP/MRL 84-84(TR), CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, 1984.*

Un "mémoire d'entente" entre Énergie, Mines et Ressources Canada, le ministère ontarien du Travail, et le ministère ontarien du Développement nordique et des Mines fut signé le 20 septembre 1985, date à laquelle le projet de recherche fut mis en branle. Plusieurs mois s'étaient écoulés depuis la rédaction de la première proposition de recherche en décembre 1984, et un plan de travail mis à jour* fut préparé par CANMET pour les plans de recherche immédiats du projet. Ce document a servi de point de départ aux premières discussions du comité technique lors des réunions tenues à Elliot Lake le 15 novembre 1985, et à Copper Cliff le 25 février 1986.

BIEN-FONDÉ ET OBJECTIFS

Bien que l'exploitation minière date d'au moins deux millénaires, le phénomène des coups de toit n'existe que depuis le siècle dernier. Son occurrence résulte directement de l'avancement technologique de l'exploitation minière, surtout dans les domaines du pompage, de l'utilisation de treuils, et de la ventilation, progrès qui ont permis l'exploitation en profondeur dans un milieu soumis à des contraintes toujours croissantes.

La magnitude des forces en présence et la complexité des coups de toit en ont fait un problème très difficile à résoudre. Au cours des premières années, certaines directives pratiques furent élaborées, notamment par des comités mis sur pied par le gouvernement sud-africain en 1908, 1915 et 1924, et par l'Association minière de l'Ontario (Enquête Morrison), en 1940. Ces directives se fondaient principalement sur l'approche traditionnelle du génie, soit l'observation, l'expérience, le raisonnement et les méthodes empiriques. Ces directives recommandaient, entre autres, d'éviter les piliers résiduels, de pratiquer l'exploitation selon une séquence systématique des opérations et d'appliquer des procédures d'exploitation prescrites autours des dykes et des failles.

Ce n'est qu'au cours des années 1960 qu'on en vint à une compréhension théorique des coups de toit, notamment grâce aux travaux de Cook et de Salamon en Afrique du Sud. Les coups de toit étant une violente libération d'énergie, on utilisa une approche d'équilibration de l'énergie. On calcula toutes les sources d'énergie entrant dans le système minier par rapport aux façons dont ces énergies étaient utilisées ou dissipées. Le surplus d'énergie était libéré sismiquement sous forme de coup de toit. On comprit en outre que la violente rupture de la roche dépendait de la rigidité du système de toitment. Par exemple, en laboratoire, l'éclatement violent d'un spécimen de roche friable découlait de la propriété de rigidité de la machine à essai, et non de celle de la roche.

À la même époque, on installait des systèmes de monitorage sismique dans des mines sud-africaines et américaines. Ces systèmes permettaient une bien meilleure compréhension des problèmes de coups de toit, puisqu'il est essentiel de situer précisément la source des coups pour en comprendre le mécanisme.

Dans les mines canadiennes, les systèmes de monitorage sismique ou microsismique furent d'abord introduits au début des années 1980, et dix de ces systèmes fonctionnent présentement dans des mines ontariennes. Ces systèmes situent les sources d'événements sismiques d'après le moment d'arrivée de la première onde et la mesure relative de l'énergie sismique libérée. En ce sens, ils ont été extrêmement utiles dans la prévision des tendances de l'activité sismique, et il est habituellement possible de déduire un mécanisme en se fondant sur l'emplacement de la source par rapport aux ouvertures de la mine.

On a pu identifier trois types de coups de toit à partir du mécanisme impliqué et de la source de l'énergie libérée:

1. les éclatements d'énergie de déformation sont provoqués par de fortes concentrations de contrainte au bord d'une ouverture. L'énergie libérée est l'énergie de déformation emmagasinée dans la roche.
2. Les éclatements de piliers se produisent lorsqu'un pilier se rompt soudainement, entraînant une convergence rapide du toit et du chevet. L'énergie libérée fait partie du changement d'énergie potentielle des roches encaissante des épontes.

**Hedley, D.G.F. et Udd, J.E., "The CANMET/MRL Rockburst Research Project – Updated Work Plan" [Le Projet de recherche CANMET/MRL sur les coups de toit – Plan de travail mis à jour], Rapport de division MRP/MRL 85-106(TR), septembre 1985.*

3. Les éclatements de glissement de faille se produisent lorsque la contrainte de cisaillement le long d'une faille excède la contrainte de cramponnage. Là encore, c'est le changement dans l'énergie potentielle qui est la principale source de l'énergie libérée. Ce type de coup de toit peut se produire au sein d'un gisement de minerai, ou à distance.

Des 217 coups de toit enregistrés en 1984-1985 dans les mines ontariennes et ayant une magnitude de 1,5 à 4,0, 5 % sont classifiés comme éclatements d'énergie de déformation, 81 % comme éclatements de piliers, et 14 % comme éclatements de glissement de faille.

Les systèmes microsismiques actuels sont spécifiquement conçus pour mesurer les premiers temps d'arrivée au moyen de géophones extrêmement sensibles. D'autres informations, comme la direction du premier mouvement et la vélocité maximale des particules, bien que détectées, ne sont pas enregistrées. De plus, en raison de leur grande sensibilité, les géophones deviennent saturés à des magnitudes d'événements sismiques très basses, et les valeurs énergétiques enregistrées sont divergentes.

Les études de premiers mouvements devraient indiquer le mécanisme impliqué dans le coup de toit. Dans un éclatement de glissement de faille, les deux côtés de la faille se déplacent dans des directions opposées qui devraient être détectées par des géophones situés en des endroits stratégiques autour de la faille. Les éclatement de piliers sont une implosion et le premier mouvement se dirige vers l'intérieur, tandis qu'un coup de toit est une explosion et le premier mouvement se dirige vers l'extérieur.

La vélocité maximale des particules est une mesure des dommages causés par un coup de toit semblable à celui provoqué lors d'un abattage à l'explosif. On l'utilise dans la conception de systèmes de soutien capables de supporter certains niveaux de coups de toit. Dans les mines d'or d'Afrique du Sud, on a établi une relation empirique entre la magnitude du coup de toit, la vélocité maximale des particules et la distance. Il faut établir une relation semblable pour les mines canadiennes.

Il faut déterminer une valeur fiable de l'énergie sismique libérée dans un coup de toit, car elle est essentielle à la compréhension de l'équilibre énergétique. Elle est également nécessaire à la vérification des composantes énergétiques calculées dans les programmes d'ordinateurs.

Aussi, la première priorité du Projet de recherche sur les coups de toit est-elle de concevoir un système de monitorage sismique qui enregistrera les formes d'ondes complètes et fournira de l'information sur le premier mouvement, la vélocité maximale des particules et l'énergie sismique. Étant donné l'énorme quantité de données sismiques engendrées, la recherche initiale sera concentrée sur les plus grand événements sismiques, ceux dont la magnitude est supérieure à 1,0, c'est-à-dire les plus importants. Même là, il y a tout lieu de croire que le système de monitorage sismique deviendra saturé pour les grands coups de toit d'une magnitude égale ou supérieure à 3,0. Dans ces cas-là, il faudra se fier au Réseau sismographique national. On procède présentement à l'agrandissement de ce réseau, par l'installation de sismographes additionnels dans le bassin de Sudbury et à Elliot Lake.

Il y deux approches à la réduction de l'ampleur des coups de toit, approches que l'on peut qualifier de "stratégique" et de "tactique". L'approche stratégique consiste à réduire les possibilités de rencontrer un sol propice aux coups de toit, ou de diminuer la gravité des coups de toit. Parmi les techniques utilisées, mentionnons l'ordonnance systématique de l'extraction afin de réduire au minimum les libérations importantes d'énergie; la mise en place de piliers permanents ou semi-permanents pour réduire la convergence volumétrique et le changement d'énergie potentielle, et l'utilisation de remblais pour réduire la convergence et absorber l'énergie autrement libérée sous forme d'énergie sismique. Les avantages de ces techniques ne seront réalisés qu'à long terme.

L'approche tactique consiste à accepter qu'une certaine activité de coups de toit soit inévitable, mais vise à réduire l'étendue des dommages. Parmi les techniques possibles, mentionnons: la conception de systèmes de soutien qui cèdent aux vibrations plutôt que de rompre et le tir de décontrainte servant à ramollir le roc et contrôler le déroulement temporel du changement dans l'énergie potentielle. Les avantages de ces techniques peuvent être réalisés à court terme.

PLANS DE TRAVAIL 1985-1987

Les plans de travail détaillés couvrent les deux premières années du projet et comportent cinq éléments. Les quatre premiers éléments couvrent la recherche proposée dans les quatre exploitations minières où se sont produits des coups de toit (Sudbury, Elliot Lake, Red Lake et Kirkland Lake), et le cinquième élément couvre les études de base. Outre le plan de travail, les contributions attendues de CANMET, de l'Ontario et de l'industrie minière sont énumérées ci-après pour chaque élément.

Élément 1: Les mines de Sudbury

Objectifs:

Déterminer les causes et mécanismes des coups de toit à l'INCO et aux mines Falconbridge en utilisant des techniques d'analyse des formes d'ondes, et évaluer des méthodes de réduction de l'ampleur des coups de toit et de limitation de leurs dégâts.

Plan de travail: (couvrant les deux premières années jusqu'en 1987)

1. Améliorer le réseau microsismique à la mine Creighton en remplaçant les géophones par des accéléromètres (mars 1986);
2. Effectuer des études d'analyse des formes d'ondes à la mine Falconbridge en utilisant un enregistreur Gould pendant une période de trois mois (décembre 1986);
3. Élargir le réseau sismique régional dans le bassin de Sudbury de 1 à 3 stations, reliées à Science Nord et par téléphone à la Division de sismologie d'EMR à Ottawa, afin d'étendre le champ des coups de toit enregistrés et d'améliorer le repérage de la source des coups de toit auparavant non repérés (octobre 1986);
4. Mettre en place deux nouveaux réseaux sismiques comprenant 5 unités dotées de sondes tridimensionnelles autour de la mine de l'INCO à Creighton et à la mine de la Falconbridge à Strathcona. Ces unités seront installées sous terre et en surface, à environ 1 km des zones actives de coups de toit, et conçues de façon à pouvoir enregistrer les coups de toit d'une magnitude supérieure à 1,0. Les formes d'ondes complètes de ces grans événements sismiques seront emmagasinées dans des unités de traitement aux sites miniers et transférées par lignes téléphoniques au Laboratoire de CANMET à Elliot Lake. L'analyse des arrivées d'ondes P-S pour les repérages de sources, les études de premiers mouvements, l'énergie sismique et la vélocité maximale des particules sera effectuée sur les ordinateurs d'Elliot Lake (1re installation en octobre 1986, 2e installation en 1987);
5. Le calibrage des nouveaux réseaux sismiques, probablement par l'utilisation de tirs de production isolés (octobre 1986, 1987);
6. Poursuite du monitorage aux mines de Strathcona et de Creighton en utilisant les systèmes microsismiques existants ainsi que les nouveaux système sismiques;
7. L'évaluation des capacités de monitorage du réseau sismographique régional couvrant le bassin de Sudbury, des nouveaux réseaux sismiques aux deux mines et des systèmes microsismiques miniers (1987).

Rapports:

1. Conception d'un nouveau réseau sismique intermédiaire (juin 1986);
2. Conception et calibrage des nouveaux réseaux sismiques aux mines de Strathcona et Creighton (décembre 1986, 1987);
3. Études de formes d'ondes à la mine de Falconbridge (mars 87);
4. Évaluation des systèmes sismiques régional et intermédiaire et du système microsismique minier (1987);
5. Évaluation préliminaire des études d'analyse des formes d'onde aux mines Strathcona ou Creighton (1987).

Contributions de CANMET:

1. 3 années/personnes pendant 5 ans.
2. 15 000 $/année pour les coûts de transmission des données à Ottawa et à Elliot Lake;
3. Rédaction de rapports techniques.

Contributions de l'Ontario:

1. Amélioration au système microsismique de Creighton, (éval. 37 000 $), coût réel 44 000 $ (1985-1986);
2. Équipement de mesure de la forme d'ondes à la mine de Falconbridge, (éval. 47 000 $), coût réel, 42 000 $ (1985-1986);
3. Agrandissement du réseau sismique régional, bassin de Sudbury, (éval. 79 000 $), coût réel 55 000 $ (1985-1986);
4. Premier nouveau réseau sismique dans une mine de Sudbury, éval. à 140 000 $ (1986-1987);
5. Second nouveau réseau sismique dans une mine de Sudbury, éval. à 140 000 $ (1987-1988).

Contributions de l'industrie:

1. Réseaux microsismiques existants aux mines de Falconbridge, Strathcona et Creighton;
2. Fonctionnement journalier de ces réseaux et transmission des données sismiques à CANMET;
3. Installation (forage de trous de mine, mise en place de sondes et de câbles) du système Gould à la mine de Falconbridge et des nouveaux réseaux sismiques aux mines de Strathcona et Creighton.

Élément 2: Les mines d'Elliot Lake

Objectif:

Déterminer si l'éponte supérieure est affaissée au-dessus de la zone de coups de toit à la mine Quirke, afin de surveiller l'accroissement de l'activité sismique aux mines Quirke et Denison et d'établir une relation entre les valeurs énergétiques provenant du système microsismique de la mine et d'un sismographe au Laboratoire de CANMET à Elliot Lake.

Plan de travail: (couvrant les deux premières années jusqu'à 1987):

1. Installer une unité sismographique au Laboratoire CANMET d'Elliot Lake (novembre 1985);
2. Forer à nouveau les trous d'exploration de surface au-dessus de la zone de coups de toit à la mine Quirke afin de déterminer si l'éponte supérieure est affaissée et à quelle profondeur (mars 1986);
3. Installer des géophones dans ces trous de forage de surface à environ 150 m au-dessus du gisement de minerai, afin d'améliorer la résolution verticale des événements sismiques (mai 86);
4. Calibrer tout le système microsismique au moyen de tirs de petite envergure (mai 1986);
5. Poursuivre le monitorage de l'activité sismique aux mines Quirke et Denison;
6. Évaluer les valeurs énergétiques provenant des unités microsismiques et sismographiques (mars 87).

Rapports:

1. Évaluation de l'état de l'éponte supérieure et calibrage du réseau microsismique (juillet 86);
2. Relation énergétique microsismique-sismographique (mars 87).

Contributions de CANMET:

1. Main-d'oeuvre assurée par le personnel existant;
2. Rédaction de rapports techniques.

Contributions de l'Ontario:

1. Forage au diamant de trous de forage de surface, (éval. 20 000 $), coût réel, 22 000 $ (1985-1986);
2. Électricité d'appoint et radio pour sismographe, (éval. 3 000 $), coût réel, 2 000 $ (1985-1986);
3. Seconde unité sismographique, 6 000 $ (1986-1987).

Contributions de l'industrie:

1. Unité sismographique (donnée par Denison);
2. Réseau microsismique existant couvrant les mines Quirke et Denison;
3. Fonctionnement journalier de ce réseau et transmission des données sismiques à CANMET;
4. Installation de géophones dans les trous de forage de surface (Rio Algom);
5. Tirs de calibrage (Rio Algom et Denison).

Élément 3: Les mines de Red Lake

Objectif:

Mettre au point des techniques visant à réduire le problème des coups de toit et permettant la récupération efficace et sécuritaire des stots dans les gisements de minerai en pente abrupte, en utilisant des terrils bétonnés.

Plan de travail: (couvre les deux premières années jusqu'à 1987)

1. Installation de cellules de mesure de remblai et d'appareils de mesure de convergence dans les excavations minières remblayées dans les gisements de minerai étroits (2 m) et larges (15 m) et selon diverses proportions terril/béton, afin de déterminer la rigidité sur place du matériau de remblayage, la pression de soutien et l'énergie absorbée par le remblai (à compter de janvier 1986 et lors de chaque déversement de remblai);
2. Monitorage de l'activité sismique avec analyse complète de formes d'ondes (système Gould), changement de la contrainte, convergence du mur et pressions de remblai en conjonction avec un tir de décontrainte d'un stot (janvier 1986) et autres tirs importants;
3. Mesures de contrainte au point de soutirage et piliers de seuils (1986 et 1987);
4. Modélisation par ordinateur, avec propriétés des roches suivant la rupture, des structures minières existantes aux fins de calibrage, puis de structures minières alternatives, y compris des tirs de décontrainte (1986 et 1987).

Rapports:

1. Résultats du tir de décontrainte (juin 1986);
2. Contraintes des piliers (décembre 1986);
3. Calibrage des modèles d'ordinateurs (décembre 1986);
4. Rapport préliminaire sur les mesures de la rigidité du remblai, des pressions de soutien et de l'énergie absorbée (mars 1987).

Contributions de CANMET:

1. Une année/personne pendant 5 ans;
2. Mesure des contraintes dans les piliers;
3. Rédaction de rapports techniques.

Contributions de l'Ontario:

1. Cellules de pression de remblai et appareils de mesure de convergence, (éval. 8 000 $), coût réel, 8 000 $ (1985-1986);
2. Ordinateur portatif (pour utilisation à tous les sites miniers), (éval. 5 000 $), coût réel 13 000 $ (1985-1986);
3. Cellules de pression de remblai, cellules d'appareil de mesure de contrainte et de convergence, 15 000 $ (1986-1987);
4. Modélisation par ordinateur sur des ordinateurs de l'extérieur, 20 000 $ (1986-1987).

Contributions de l'industrie:

1. Réseau microsismique existant à la mine Campbell;
2. Fonctionnement journalier de ce réseau et transmission des données sismiques à CANMET;
3. Installation de l'instrumentation;
4. Forage au diamant pour mesures de contraintes.

Élément 4: Les mines de Kirkland Lake

Objectifs:

Mettre au point des techniques visant à réduire le problème des coups de toit et permettant la récupération efficace et sécuritaire des stots dans les gisements de minerai en pente raide, en utilisant un remblai de roches.

Plan de travail: (couvre les deux premières années jusqu'en 1987)

1. Mise en place d'un réseau microsismique combiné (conventionnel et de recherche) à la mine Macassa. Le système conventionnel consisterait en un réseau d'accéléromètres à 16 canaux avec une unité de traitement semblable aux autres systèmes installés dans les mines de l'Ontario. Le système de recherche comprendrait des sondes tridimensionnelles capables de capter des formes d'ondes complètes transmises à la même unité de traitement (1987);
2. Monitorage d'un tir de décontrainte et de l'activité sismique en résultant, en utilisant l'enregistreur portatif de formes d'ondes (juin 1986), et autres tirs importants;
3. Examen de l'activité de coups de toit antérieure à la mine Macassa, sous l'angle particulier des types et structures des roches (septembre 1986).

Rapports:

1. Examen de l'activité de coups de toit à la mine Macassa (septembre 1986);
2. Résultats des tirs de décontrainte (octobre 1986).

Contributions de CANMET:

1. 1/2 année/personne pendant 4 ans;
2. Conception du schéma des sondes pour système microsismique;
3. Rédaction de rapports techniques.

Contributions de l'Ontario:

1. Volet recherche du système microsismique, éval. à 60 000 $ (1986-1987-1988).

Contributions de l'industrie:

1. Volet conventionnel du système microsismique (Lac Minerals);
2. Mise en place d'un système microsismique (forage, installation de sondes et de câbles) (Lac Minerals);
3. Fonctionnement journalier de ce réseau et transmission des données sismiques à CANMET;
4. Installation de l'instrumentation et modèle "maître" NFOLD pour essais informatiques additionnels.

Élément 5: Études de base

Objectif:

Fournir une vue d'ensemble de l'activité de coups de toit dans les mines de l'Ontario, prendre connaissance de la recherche sur les coups de toit dans d'autres organisations et d'autres pays, et effectuer une recherche fondamentale sur les méthodes de repérage de source, la mesure de l'énergie sismique et les mécanismes des coups de toit.

Plan de travail:

1. Examen annuel des incidents de coups de toit dans les mines de l'Ontario (juillet de chaque année);
2. Comparaison des techniques de repérage de source au moyen des données de calibrage par tir, et normalisation à partir d'une seule technique complètement automatisée (décembre 1986);
3. Acquisition/mise au point d'un logiciel pour l'analyse de formes d'ondes couvrant les études de premiers mouvements, l'énergie sismique libérée et la vélocité maximale des particules (décembre 1986);
4. Examen des facteurs affectant les valeurs énergétiques du système microsismique actuel, et mise au point de spécifications pour améliorer la prise de mesure énergétique (mars 87).

Rapports:

1. Coups de toit dans les mines de l'Ontario en 1984 (décembre 1985);
2. Coups de toit dans les mines de l'Ontario en 1985-1986 (juillet 1986, 1987);
3. Méthode normalisée de repérage des sources (décembre 1986);
4. Examen des facteurs et caractéristiques énergétiques (mars 1987).

Contributions de CANMET:

1. Main-d'oeuvre assurée par le personnel existant;
2. Rédaction de rapports techniques.

Contributions de l'Ontario:

Aucune n'est requise.

Contributions de l'industrie:

1. Information sur les coups de toit pour la revue annuelle;
2. Données de calibrage par tir.

PROGRÈS RÉALISÉS À CE JOUR

Le Projet de recherche sur les coups de toit a débuté le 20 septembre 1985, et le présent compte rendu porte sur la période se terminant le 31 mars 1986, soit à la fin de la première année fiscale.

Dans le cadre de la contribution de CANMET, quatre personnes supplémentaires ont été embauchées pour veiller au fonctionnement du projet. De plus, un sismologue en stage post-doctoral s'est joint au Laboratoire d'Elliot Lake. Des visites ont été effectuées à la Division de Sismologie d'Énergie, Mines et Ressources Canada, à l'Université de Saskatchewan, dans la région de Coeur d'Alene en Idaho, au United States Bureau of Mines à Denver, et aux Laboratoires Sandia à Albuquerque, Nouveau-Mexique, de même que dans les mines de l'Ontario afin d'observer la technologie microsismique/ sismique de pointe actuellement utilisée.

L'Ontario a versé 186 000 $ pour l'équipement et les services principaux en 1985-1986. Ces fonds furent utilisés pour le forage au diamant à Elliot Lake, les stations sismographiques à Sudbury et Elliot Lake, l'équipement semiportatif d'analyse de formes d'ondes, les accéléromètres pour améliorer le système microsismique de Creighton, les appareils de mesure de convergence et les cellules de pression pour l'étude de remblais à Campbell, et l'équipement informatique et électronique pour le laboratoire d'Elliot Lake.
Le comité consultatif technique s'est rencontré à deux occasions: en novembre 1985 à Elliot Lake, et en février 1986 à Copper Cliff. De plus, des visites et discussions ont eu lieu à des exploitations minières privées. Toutes les compagnies minières ont fourni de l'information sur l'activité de coups de toit dans leurs mines en 1985 pour l'évaluation annuelle.

Le forage au diamant à la mine Quirke devait déterminer si l'épine était affaissée au-dessus de la zone de coups de toit. Même avant le début du forage, on savait que la quantité d'eau pompée à la mine avait augmenté d'environ 50 % en 1985, et que le niveau de l'étang de castors situé en surface avait baissé d'environ 4 m. Il existe donc un rapport entre la surface et le souterrain, bien que l'on ne sache pas si cela est causé par une cassure générale, ou le long de structures importantes. On a connu des problèmes importants lors du reforage d'un trou d'exploration de surface. Une perte d'eau complète s'est produite à un certain nombre de niveaux. À 125 m de profondeur, le trou de forage original était décalé de 50 mm au contact des couches de calcaire-conglomérat. On a également remarqué un décalage de 25 mm à 145 m de profondeur, au milieu des couches de quartzite. À une profondeur de 165 m, les tiges de forage se sont rompues à deux reprises à cause du sol fracturé, et le trou fut abandonné, quelque 230 m au-dessus du gisement de minerai. Bien qu'il ait été impossible d'établir la hauteur de l'affaissement, on a pu remarquer une fracture générale de la masse rocheuse. On a mis de la teinture dans le trou de forage et dans l'étang de castors, afin de découvrir à quel niveau l'eau pénètre dans la mine. Un rapport est en préparation.
Une station sismographique a été installée au laboratoire d'Elliot Lake en novembre 1985. Cette unité a enregistré une activité sismique dans les mines locales (Quirke, Denison et Stanleigh), ainsi que des coups de toit d'une magnitude supérieure à 2,0 dans les mines de Sudbury (Strathcna, Creighton, Copper Cliff North) et des magnitudes de plus de 3,0 à la mine Kerr Addison. L'amplitude des signaux au sismographe sera comparée aux valeurs énergétiques provenant de l'unité microsismique à la mine Quirke afin de déterminer l'existence d'une corrélation.
Les stations sismographiques et l'équipement connexe pour le bassin de Sudbury sont présentement en train d'être assemblés, et doivent être installés et rattachés à Science Nord en octobre 1986.

On a fait le monitorage d'un tir de décontrainte à la mine Campbell de Red Lake en janvier 1986. L'instrumentation utilisée comprenait un système microsismique Electrolab, un enregistreur de formes d'ondes (unité Gould), des moniteurs de vibrations de tir (unités Instantel), des appareils de mesure de convergence et des appareils de mesure de contrainte (jauges IRAD).

On a utilisé l'élément fini et les modèles d'ordinateur NFOLD afin d'évaluer le changement de contrainte et de déplacement résultant du tir de décontrainte. Les premiers résultats indiquent que le changement de contrainte et le déplacement est faible (70 kPa et 2 mm) par suite du tir. L'analyse de formes d'ondes a donné des valeurs cohérentes pour les vélocités d'ondes P et S et légèrement supérieures au système microsismique Electrolab. Les géophones du système ont été saturés par le tir de décontrainte (300 kg instantanés) sur une distance d'au moins 500 m. Un rapport est en préparation.

L'enregistreur de formes d'ondes a été rattaché au réseau microsismique en place au puits numéro 5 de Falconbridge à la fin de mars 1986. Bien que la mine soit fermée (à la suite des coups de toit de juin 1984), une activité sismique mineure se poursuit, ce qui permet d'enregistrer des formes d'ondes à partir de mécanismes de glissements de faille.

La conception du nouveau système sismique intermédiaire est presque terminée. Des sondes tridimensionnelles de mouvement fort seront installées à une distance variant entre 500 et 1 000 m des zones d'exploitation minière active. Les signaux sismiques seront transmis à un ordinateur central à la mine. Un lien par modem permettra le transmission quotidienne de ces données au Laboratoire d'Elliot Lake. L'analyse des formes d'ondes sera effectuée à Elliot Lake.

RAPPORTS

Un seul rapport était prévu pour cette période: Hedley, D.G.F. et Wetmiller, R.J., "Rockbursts in Ontario Mines During 1984" [Les coups de toit dans les mines de l'Ontario au cours de 1984]; Rapport spécial SP 85-5, Énergie, Mines et Ressources Canada, juillet 1985.

Résumé

Au cours de 1984, plus de 100 coups de toit se sont produits dans sept mines de l'Ontario, ce qui constitue une augmentation considérable par rapport aux années précédentes. Une caractéristique inhabituelle a été la succession de coups de toit multiples qui s'est produite dans quatre mines sur des périodes allant de quelques heures à plusieurs mois.

Ces coups de toit ont été enregistrés par les réseaux sismographiques Régionaux, et dans la plupart des cas, par les systèmes microsismiques en place dans les mines. Il a été possible de faire correspondre les valeurs de magnitude enregistrées par le réseau régional aux sources précises repérées par les réseaux miniers. L'établissement de cette correspondance a été d'un grand apport à l'évaluation des mécanismes, des causes et de l'étendue de l'activité de coups de toit.

La plus grande partie de l'activité de coups de toit s'est produite dans des piliers situés dans des gisements de minerai minces et tabulaires, soit en pente douce comme celui d'Elliot Lake, ou en pente abrupte comme ceux de Red Lake et de Kirkland Lake. Certains coups de toit dans les mines de Sudbury ont été attribués à un mécanisme de glissement de faille.

Autre rapports pertinents

Dampier, W.T. & Associates Limited. *Amélioration de la stabilité du sol et des travaux de sauvetage dans les mines* – Improving ground stability and mine rescue; Report of the Provincial Inquiry into Ground Control and Emergency Preparedness in Ontario Mines, ISBN:07729-1064; 1986

Hedley, D.G.F. et Udd, J.E. "Projet de recherche conjoint CANMET/MRL sur les coups de toit – plan de travail mis à jour" Rapport de division MRP/MRL 85-106(TR); CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; Septembre 1985

Udd, J.E. "Proposition relative à un projet de recherche important sur les coups de toit"; "A proposal for a major research project on rockbursts; Rapport de division MRP/MRL 84-84(TR); CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1984

ANNEXE

Comité de gestion du projet de recherche sur les coups de toit

C.H. Brehaut, président de Dome Mines Ltd.
C. Barsotti, INCO Ltd.
M. Musson, Falconbridge Ltd.
B. Goodman, Ministère du Travail de l'Ontario
V. Milne, Ministère du Développement nordique et des mines de l'Ontario
K Whitham, Énergie, Mines et Ressources Canada
J.E. Udd, Énergie, Mines et Ressources Canada

Comité technique du projet de recherche sur les coups de toit

D.G.F. Hedley, Énergie, Mines et Ressources Canada, président
D. Ames, Ministère du Travail de l'Ontario
P. MacDonald, Inco Ltd.
D. Morrison, Falconbridge Ltd.
S.N. Muppalaneni, Rio Algom Ltd.
M. Newmann, Campbell Red Lake Mines Ltd.
W. Quesnel, Lac Minerals Ltd.
A. Sheikh, Denison Mines Ltd.